

노즐용삭을 고려한 SF6 가스차단기 노즐의 열적회복특성 해석

論 文
54C-2-6

Analysis of Thermal Recovery Characteristics for Nozzle of SF6 GCB Considering Nozzle Ablation

李秉潤^{*} · 宋基東^{*} · 鄭鎮教^{**} · 朴敬燁^{***}
 (Byeong-Yoon Lee · Ki-Dong Song, Jin-Kyo Chong · Kyong-Yop Park)

Abstract - In this paper, a method for analyzing the thermal recovery characteristics of the nozzle of gas circuit breaker was described. In order to obtain thermal recovery characteristics, the transient simulation of SF6 arc plasma within the nozzle was carried out. In particular, the nozzle ablation was taken into account by simultaneously solving the PTFE concentration equation with the governing equations such as continuity, momentum and energy equation. After that, post arc current calculation was performed with the rate of rise of recovery voltage changed. From the calculated post arc current, it was possible to suggest the thermal recovery characteristics of the nozzle of gas circuit breaker.

Key Words : Thermal Recovery Characteristics, SF6 Gas Circuit Breaker, Nozzle Ablation, PTFE Concentration, Post Arc Current

1. 서 론

SF6 가스차단기[1]의 설계는 크게 절연설계, 통전설계 및 차단설계로 분류할 수 있다. 이 중에서 SF6 가스차단기가 고장전류를 차단할 수 있는 능력을 갖도록 설계하기 위한 차단설계는 다시 소전류 차단설계와 대전류 차단설계로 세분된다. 단자단락고장(Bus Terminal Fault)[1-7] 또는 근거리 선로고장(Short Line Fault)[1-7]과 같은 고장이 발생한 경우에 선로에 흐르는 고장전류를 차단하기 위한 대전류 차단설계는 현재 가장 어려운 분야로 여겨지고 있는데, 그 이유는 대전류 차단 시에 SF6 가스 중에서 고온·고압의 아크 플라즈마가 발생하고 이와 관련된 물리적 현상들이 매우 복잡하기 때문이다.

가스차단기 내부에서 발생하는 아크 플라즈마와 관련된 물리적 현상들은 매우 복잡하여 현재까지도 모든 현상을 고려한 해석 기술은 개발되어 있지 않다. 먼저 고장전류 차단 시 발생한 아크로부터 나오는 Joule 열에너지는 전도, 대류 및 복사와 같은 열전달 메커니즘에 의해 아크를 둘러싸고 있는 주위의 냉가스로 전달된다. 특히, 복사에 의해 노즐 표면에 전달된 열에너지는 PTFE와 같은 노즐 물질의 용삭을 일으키며, 용삭된 물질은 SF6 가스에 혼입된다. 접점의 표면에서는 아크에 의한 가열로 인해 접점의 재질이 증발되어

아크 플라즈마 내부로 녹아 들어간다. 접점의 팁(Tip)부분에서는 전극의 Sheath효과가 발생하고, 아크전류에 의해 발생한 자계에 의해 아크자체가 Lorentz힘을 받아 아크 플라즈마의 움직임에 영향을 미치게 된다. 그리고 이러한 아크를 소호하기 위해 분사된 압축가스로 아크 플라즈마 내부의 유동은 난류 특성을 띄게 된다.

이와 같이, 고장전류를 차단하는 과정에서 SF6 가스차단기 내부에서는 여러 가지 물리적 현상들이 복합적으로 발생하므로 이것들을 모두 고려한 아크 플라즈마 해석 기술을 개발하는 것은 매우 힘들다. 저자들은 90년대 말부터 유동해석 프로그램인 Phoenix를 이용하여 아크 플라즈마를 해석하는 기술을 개발해오고 있는데[8-10], 현재까지는 위에서 열거한 현상들 가운데, 점점 재질의 증발효과와 전극의 Sheath 효과가 고려되고 있지 않다. 한편 노즐용삭의 경우는 노즐 물질인 PTFE와 SF6 혼합 가스의 물리적 특성을 고려하여 정상상태 하에서의 고온·고압 아크 플라즈마를 해석하여 이미 발표한 바 있다[11].

그러나 근거리 선로고장과 같은 대전류 차단설계에 필요한 열적회복특성을 구하기 위해서는 과도상태 하에서의 고온·고압 아크 플라즈마를 해석하고 그 결과로부터 과도회복전압상승률(Rate of Rise of Recovery Voltage: RRRV)에 따른 전류영점 이후의 시간대별 아크 후전류(post arc current)를 계산하여야 한다. 구해진 열적회복특성 곡선으로부터 임계과도회복전압상승률(Critical Rate of Rise of Recovery Voltage : RRRVc)을 확인하여 요구되는 과도회복전압 상승률과 비교함으로써 SF6 가스차단부의 근거리 선로고장에 의해 발생한 고장전류의 차단 여부를 예측할 수 있게 되어, 현재 시험 및 시행오차에 의존하여 개발해 오던 SF6 가스차단부의 개발에 소요되는 시간과 비용을 크게 절감할 수 있게 된다. 본 논문에서는 노즐용삭을 고려한 SF6 가스차단

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員
 E-mail : bylee@keri.re.kr

* 正會員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員

** 正會員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員

*** 正會員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 責任研究員

接受日字 : 2004年 10月 28日

最終完了 : 2004年 12月 28日

기 노즐에 대한 열적회복특성 해석을 실시하고 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 과도상태 아크 플라즈마 하에서의 노즐용삭 해석 기술

2.1 지배방정식

SF6 가스차단부 내에서 발생하는 아크 플라즈마 해석과 관련된 지배방정식, 아크의 방사모델링, 난류모델링, 노즐용삭모델링, 전계 및 자계계산 등은 이미 발표된 논문에서 자세히 기술하였으므로 본 논문에서는 지배방정식만을 간단히 정리하고자 한다.

절연 및 소호 매체로 이용하는 가스차단기는 그 구조상, 차단부 내에서의 유동의 흐름은 축방향이 지배적이므로 반경방향의 유동 흐름을 무시하고 원통좌표계 (r, θ, z) 를 이용하여 아크 플라즈마를 해석하기 위한 지배방정식을 표현하면 다음과 같이 된다.

. 연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho U) = 0 \quad (1)$$

여기서, ρ 는 PTFE-SF₆ 혼합물질의 밀도를 나타내며 U 는 가스의 속도벡터로 반경방향의 속도성분 v 와 축방향의 속도성분 w 로 구성된다.

. 반경방향 운동량 보존방정식

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \text{div}(\rho U v) - \text{div}(\Gamma \text{grad } v) = -\frac{\partial P}{\partial r} + (\mathbf{J} \times \mathbf{B})_r \quad (2)$$

여기서 v 는 반경방향의 가스의 속도, 점성도 $\Gamma = \mu_r + \mu_t$ 이고, μ_r 과 μ_t 는 각각 가스의 층류 점성도 및 난류 점성도를 나타낸다. \mathbf{J} 는 전류밀도벡터, \mathbf{B} 는 자속밀도를 나타내는 벡터이며, P 는 압력이다.

. 축방향 운동량 보존방정식

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \text{div}(\rho U w) - \text{div}(\Gamma \text{grad } w) = -\frac{\partial P}{\partial z} + (\mathbf{J} \times \mathbf{B})_z \quad (3)$$

여기서 w 는 축방향으로의 가스의 속도를 나타낸다.

. 에너지 보존방정식

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \text{div}(\rho U h) - \text{div}(\Gamma_h \text{grad } h) = -\frac{\partial P}{\partial t} + \sigma E^2 - q + \Phi \quad (4)$$

여기에서 h 는 엔탈피를 나타내며, $\Gamma_h = (k_r + k_t)/C_p$ 로 주어진다. k_r 과 k_t 는 각각 가스의 층류 열전도도 및 난류 열전도도를 나타내고 C_p 는 가스의 비열이다. q 와 σE^2 은 각각 아

크 방사에 의한 에너지 손실과 주울 손실을 나타내며 σ 는 가스의 전기전도도, E 는 전계의 세기이다. 또한 Φ 는 층류와 난류 점성도에 의한 에너지 소산량을 나타내지만 그 영향이 미미하여 실제 계산에서는 무시되었다.

. PTFE 농도 방정식

$$\frac{\partial \rho C}{\partial t} + \text{div}(\rho U C) - \text{div}(\Gamma_C \text{grad } C) = 0 \quad (5)$$

여기에서 C 는 PTFE의 농도, $\Gamma_C = \rho(D_1 + D_2)$ 을 각각 나타내며, D_1 은 혼합물질의 층류확산계수를, D_2 는 난류확산계수이다. 난류확산계수 D_2 는 난류점성도 μ_t 와 다음의 관계에 있다.

$$D_2 = \frac{\mu_t}{\rho S_c} \quad (6)$$

여기에서 S_c 는 Schmidt수로 무차원의 값이며 그 값이 대개 1.0 근처라고 보고 되어 있어 본 논문에서도 이 값으로 적용하였다[9].

PTFE의 농도계산을 위한 경계조건은 다음과 같이 설정해 주었다. 먼저 노즐 표면에 대하여 살펴보자. 노즐의 용삭의 경우, 노즐에 도달한 방사에너지의 90%가 PTFE 물질을 용삭시키는데 이용된다고 가정하였다. 노즐 용삭에 의한 노즐 직경의 변화는 매우 작기 때문에 노즐 용삭에 의한 노즐 구조의 변화는 무시하였다. 노즐 표면에서의 PTFE 증기의 Mass Flux(단위면적당 단위시간당 질량) M_f 는 다음 식(7)과 같이 구했다.

$$M_f = \frac{R_f}{H_{PTFE}} \quad (7)$$

여기에서, R_f 는 노즐 표면에서 용삭에 이용된 Radiation Flux를 나타내고, H_{PTFE} 는 PTFE를 1kg 증발시키는데 필요한 유효 증발에너지로 $1.1 \times 10^7 J/kg$ 로 설정하였다.

PTFE 증기는 노즐 표면에서 수직으로 흘러나와 대류와 확산을 통해 열가스 유동 속도로 침투해 간다. 이 때 노즐에 바로 인접한 격자속에는 PTFE의 농도가 지배적이다. PTFE 증기의 유입에 따른 운동량은 국부 압력에 의해 계산하여 노즐에 바로 인접한 격자에 고려해 주었다. 노즐의 상류장축 경계에서는 순수한 SF6가스가 흘러들어오므로 농도를 0으로 설정했으며 하류장축 경계에서는 Neumann조건을 설정하였다.

일단 농도가 계산되면 농도에 따라 각종 물질 특성치들을 평가하였으며 열가스 유동해석을 실시하였다.

3. 아크 후전류 계산

그림 1은 SLF 대전류 차단성능 평가 흐름도를 도시한 것이다. 전계해석, 자계해석, 농도해석 및 열가스 유동해석에 대하여는 이미 여러 차례 논문을 통하여 소개하였기 때문에 본 논문에서는 주로 아크 후전류(Post-arc current) 계산에 대하여 소개하고자 한다[3,4,5].

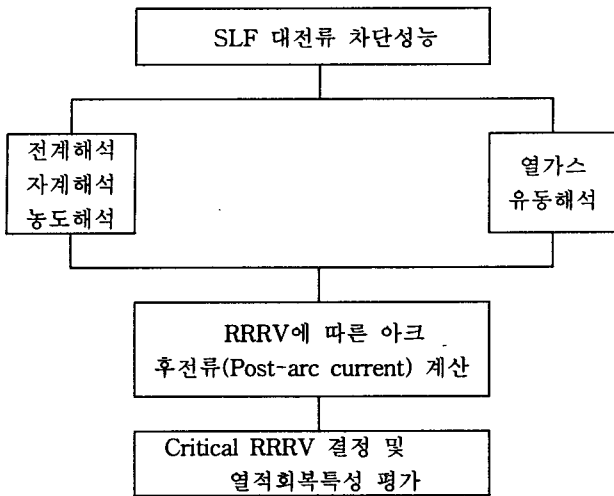


그림 1 대전류 차단성능 평가기술

Fig. 1 Evaluation technology of large current interruption performance

계통에서 발생하는 대전류 사고는 단자단락고장과 근거리 선로고장으로 대별된다. 전류영점 직후 극간에 걸리는 과도 회복전압 측면에서 이들 사고 모드를 비교하면 다음과 같다. 과도회복전압상승률의 경우, SLF쪽이 BTF보다도 크며, 반대로 과도회복전압의 최대치는 BTF쪽이 SLF보다도 크다.

한편, 전류영점 후에 발생하는 절연파괴모드는 열적파괴모드와 유전적 파괴모드로 분류할 수 있다. SLF차단의 경우, 아크 소멸 후 전극 간에 잔류하는 하전 입자 및 고온 가스가 냉각되어 도전성을 잃기 전에 상승률이 높은 과도회복전압이 가해지기 때문에 전류 영점 후에도 계속하여 미소한 전류가 흐르게 되는데 이것을 아크 후전류라고 한다. 이 전류에 의해 전극 간에는 Joule열에 의한 에너지가 주입되게 된다. 반대로 전극 간에는 하전 입자의 재결합, 고온 가스의 확산 그리고 냉가스의 주입으로 인해 냉각 작용이 일어난다. 이와 같이 전극 간에는 가열과 냉각의 두 가지 현상이 발생하게 되며 둘 사이의 우열에 의해 SLF차단의 성공과 실패가 결정된다. 만일 차단이 실패한 경우, 이것을 열적 절연파괴모드라고 한다. BTF의 경우는, 전류 영점 후 극간에 가해지는 전압의 상승률이 완만하기 때문에 전극 간에 잔류하는 하전 입자나 고온 가스는 수 μ s 이내에 냉각되어 급속히 도전성을 잃게 된다. 그 결과 전류영점 직후에는 전류가 흐르지 않는다. 그 동안 과도회복전압은 계속 상승하며 회로 조건으로 정해지는 최대치까지 상승한다. 전극 간의 가스가 냉각됨에 따라 전극간의 절연내력은 서서히 회복되는데, 절연회복의 크기가 과도회복전압을 넘어서면 차단에 성공하게 되나 반대의 경우는 유전적 절연파괴가 발생하게 된다.

아크 후전류를 계산하기 위해서는 먼저, 전류영점 이전의 과도상태에 대하여 전계해석, 자계해석 및 열가스 유동해석을 실시하고 최종적으로 전류영점에서의 결과를 구한다. 이 결과를 초기조건으로 이용하여 그림 2에 보인 바와 같이 극간의 전기전도도를 구하고 이로부터 저항 R을 계산한다. 전류영점 직후에 극간에 dV/dt 의 크기로 과도회복전압이 상승

한다고 가정하면 post-arc 전류는 다음의 식 (8)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$I_{post-arc} = \frac{dV}{dt} t \quad (8)$$

여기서, dV/dt 는 과도전압상승률을 나타내며 저항 R은 그림 2에 도시한 바와 같이 아크의 온도가 4000 [K]인 영역의 전기전도도를 적분하여 총전기전도도를 구하고 그것의 역수를 취하면 구할 수 있다.

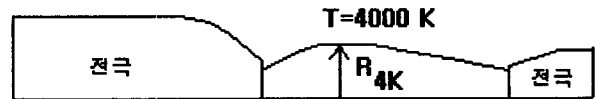


그림 2 저항 R의 계산

Fig. 2 Calculation of arc resistance R

구해진 아크 후전류가 극간에 흐름에 따라, 극간에는 다시 Joule 열에 의한 에너지가 다시 주입되고 반대로 복사에 의해 에너지 손실이 발생한다. 이 에너지원들을 고려해 전계해석, 자계해석 및 열가스 유동해석을 실시하여 위와 같은 방법으로 아크 후전류를 시간의 흐름에 따라 구할 수 있게 된다.

4. 열적회복특성 해석 사례

그림 3에 도시한 노즐 모델에 대하여 노즐용사를 고려한 열적회복특성을 구해보았다. 노즐의 길이는 34.8 [mm]이고 상류장 전극의 반경은 5 [mm], 상류장 전극 Tip부분의 반경은 2.4 [mm]이다. 또한 하류장 전극의 반경은 3 [mm], 하류장 전극의 Tip부분의 직경은 4 [mm]이고, 입력부(Inlet)의 노즐 직경은 36 [mm], 출력부(Outlet)의 노즐반경은 8 [mm]이다. 입력부에서의 경계조건으로는 압력 7.14 [Bar]의 Stagnation 상태를 가정하였고 출력부에서의 압력조건은 2.356 [Bar]로 가정하였다. 두 전극은 고정되어 있으며 전류는 그림 4와 같이 1,200 [A]로부터 시작하여 6.0 [A/ μ s]의 비율로 감소한다고 가정하였다. 고장 전류를 차단하기 위해 차단기의 접점이 이동되어야 함에도 불구하고 전극을 고정시킨 이유는 해석 구간이 전류 영점으로부터 약 200 μ s 전부터 전류 영점까지로 매우 짧기 때문이며 주 목적이 이동의 효과보다는 노즐용사의 정도를 보기 위해서이기 때문이다. 또한, 전류를 선형적으로 감소시킨 것은 전류 영점 부근에서는 고장전류가 거의 직선적으로 감소하기 때문이다. 격자수는 축 방향으로 82개, 반경 방향으로 162개를 사용하여 해석 영역을 분할하였다.

아크 플라즈마는 자계해석을 수행하여 구한 Lorentz 힘이 아크에 미치는 영향을 운동량 보존방정식에서, 아크전류에 의한 발생한 주열 열과 복사에 의한 열손실을 에너지 보존방정식에서 각각 고려하여 해석하였고, SF6-PTFE의 혼합물질의 농도계산을 실시하여 노즐용사에 의한 영향도 고려하였다. 난류모델로는 Prandtl Mixing Length모델을 이용하였으며 난류상수 파라미터는 0.195를 적용하였다.

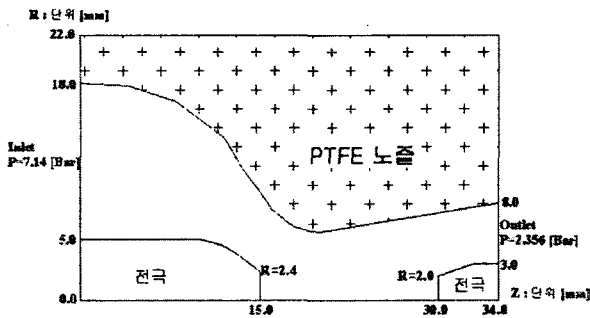


그림 3 차단부 노즐 형상
Fig. 3 Geometry of nozzle

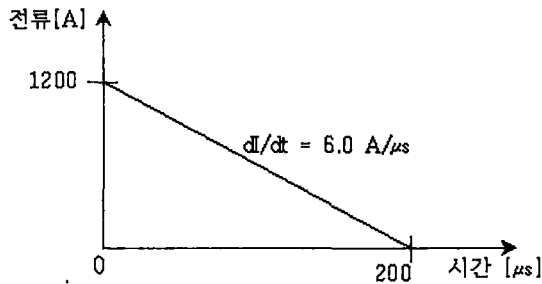


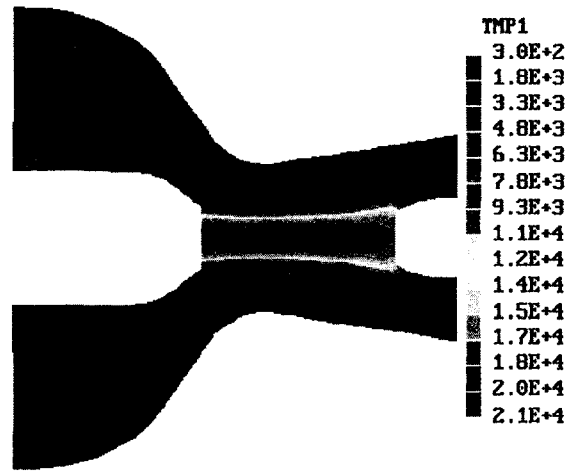
그림 4 전류 형상
Fig. 4 Current shape

전류 1,200 [A]에 해당하는 아크의 초기 조건을 설정하기 정상상태 아크해석을 수행하였으며 그림 5와 그림 6은 온도 분포와 PTFE의 농도 분포를 각각 나타낸다. 그림 5로부터 아크 중심부에서의 최대 온도는 21,000 [K]이고, 그림 6 으로부터 노즐표면 부근에서의 PTFE의 농도는 약 15.5%임을 알 수 있었다. 이것을 초기 조건으로 하여 전류가 1,200 [A]로부터 전류 영점까지 6.0 [A/μs]의 비율로 선형적으로 감소한다는 가정 하에 노즐용삭 해석기술을 적용하여 아크 플라즈마를 해석하였다. 그림 7과 그림 8은 전류영점에서의 온도 분포와 PTFE의 농도 분포를 각각 나타낸 것으로 아크 중심부에서의 최대 온도는 9,770 [K], 노즐표면 부근에서의 PTFE의 농도는 약 14.4%임을 알 수 있었다. 그림 9는 전류가 1,200 [A]일 때와 전류 영점일 때, 대칭축 상에서의 온도분포를 비교한 것으로 전류 영점 부근에서 아크의 온도가 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다.

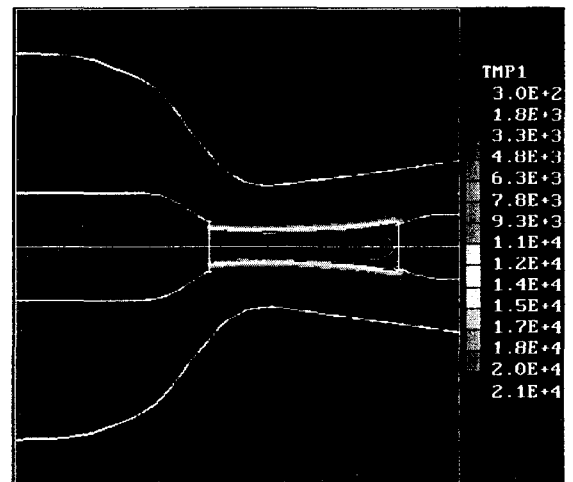
그림 10은 과복회복전압상승율을 2.0 [kV/μs]로부터 3.5 [kV/μs]까지 변화시켜가면서 아크 후전류를 계산한 결과를 도시한 것으로, 이 그림으로부터 임계과도회복전압상승율이 약 3.0 [kV/μs]임을 알 수 있었다. 즉, 과도회복전압상승율이 이 값보다 크면 고장 전류 차단에 실패하게 되고, 이 값보다 작으면 고장 전류 차단에 성공하게 되는 것이다. 따라서 만약 SF6 가스차단기를 설치하고자 하는 전력계통에서 발생하는 과도회복전압상승율이 3.0 [kV/μs]보다 크다면 차단부에 대한 설계를 다시 하지 않으면 안 된다. 한편, 노즐용삭을 고려하지 않은 경우의 임계과도회복전압상승율 3.1 [kV/μs]과 비교하여 거의 차이가 나지 않았는데, 그 이유를 살펴보면 먼저, 전류가 1,200 [A]로 실제로 발생 가능한 고장전류의 실효치인 63 [kA]에 비하여 매우 작았다는 점을 들 수 있다. 따라서 용삭된 노즐의 양이 많지 않았고 입력부에서

의 고압 냉가스에 의해 출력부로 빠져나가 아크 중심부로 침투한 양이 미미하여 혼합가스의 물질특성이 순수 SF6가스의 물질특성과 거의 비슷하였다. 다음으로, 아크 해석이 차단부 전체에 걸쳐 수행되지 않았고 또한 아크가 발생한 전 기간 중에서 전류영점 부근에서의 아크 해석이 수행되었을 뿐 대전류 영역에서의 아크 해석이 수행되지 않았다는 점이다. 따라서 아크가 발생한 전 기간에 걸쳐 수십 kA에 달하는 고장전류에 해당하는 아크 해석을 수행하게 되면 보다 많은 PTFE 증기가 SF6가스 중에 혼입될 것으로 판단되며 이미 발표된 논문[12]에서 언급한 바와 같이 차단기의 차단성능에도 크게 영향을 미칠 것으로 사료된다.

그림 11은 과복회복전압상승율이 3.1 [kV/μs]일 때, 대칭축 상에서 온도의 시간에 따른 변화를 도시한 것으로 시간이 경과함에 따라서 아크 중심부의 온도가 점차 상승하여 차단에 실패하는 것을 알 수 있었다. 반면에 그림 12는 과복회복전압상승율이 3.0 [kV/μs]일 때, 대칭축 상에서 온도의 시간에 따른 변화를 도시한 것으로 시간에 따라 점차 아크가 냉각되어 차단에 성공하고 있음을 알 수 있었다.

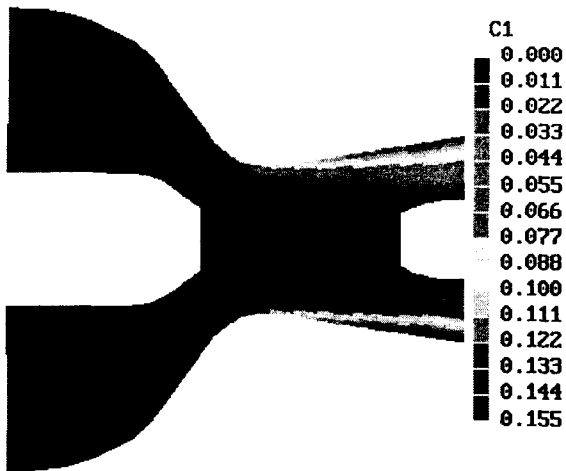


(a) 온도분포도(Temperature distribution)

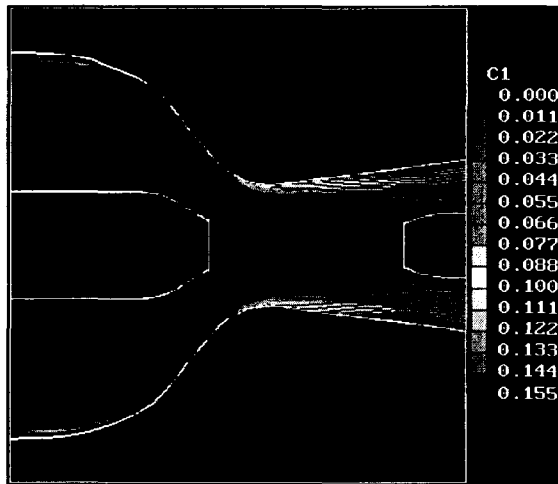


(b) 등온도선(Equi-temperature Lines)

그림 5 1,200 [A]에서의 온도 분포
Fig. 5 Temperature Distribution at 1,200 [A]



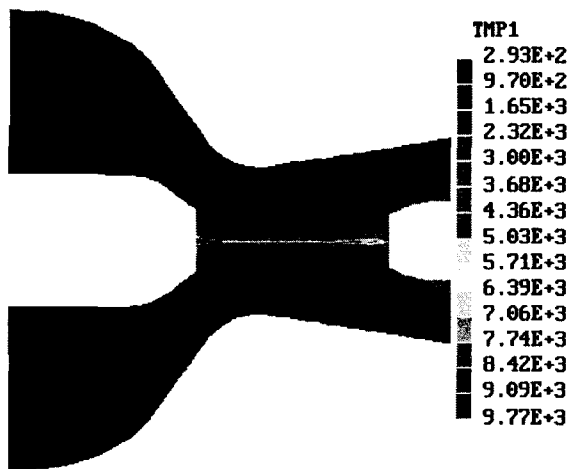
(a) 농도분포도(Concentration distribution)



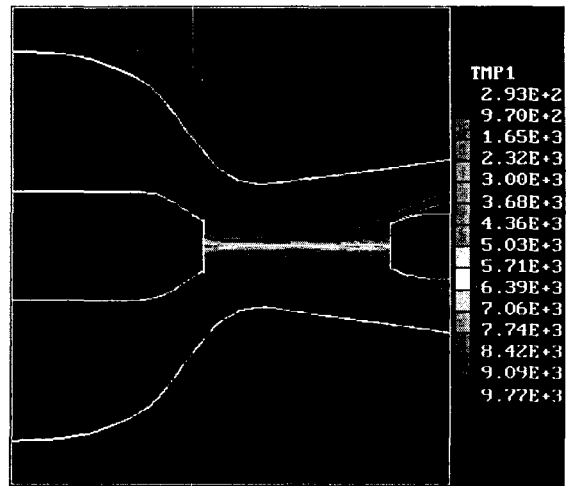
(b) 등농도선(Equi-Concentration lines)

그림 6 1,200 [A]에서의 농도 분포

Fig. 6 Concentration distribution at 1,200 [A]



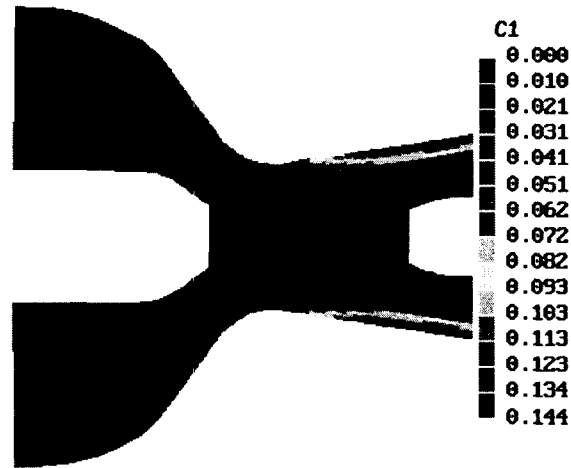
(a) 온도분포도(Temperature distribution)



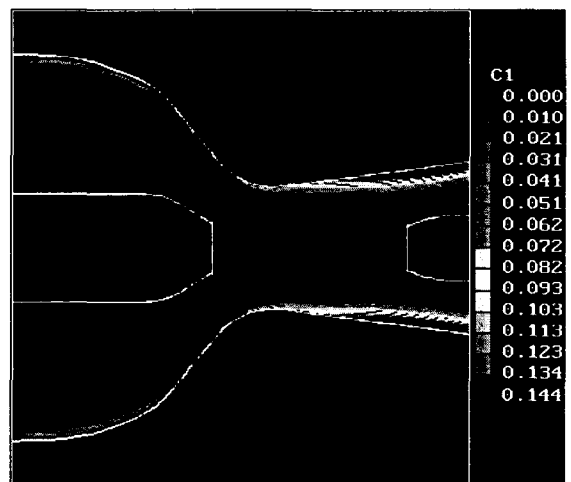
(b) 등온도선(Equi-temperature lines)

그림 7 전류영점에서의 온도 분포

Fig. 7 Temperature distribution at current zero



(a) 농도분포도(Concentration distribution)



(b) 등농도선(Equi-Concentration lines)

그림 8 전류영점에서의 농도 분포

Fig. 8 Concentration distribution at current zero

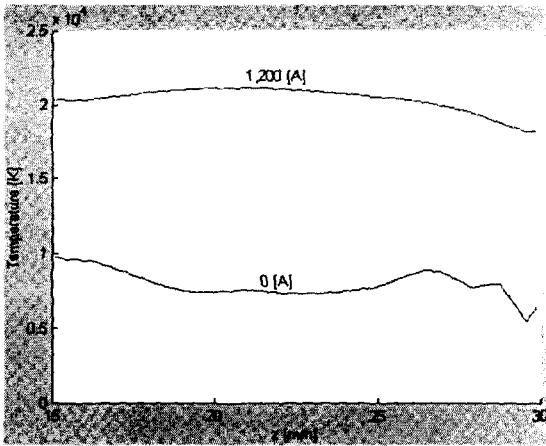


그림 9 대칭축 상에서의 온도 분포 비교(1,200 [A] 및 전류 영점)

Fig. 9 Comparison of temperatures along the symmetric axis(1,200 [A] and current zero)

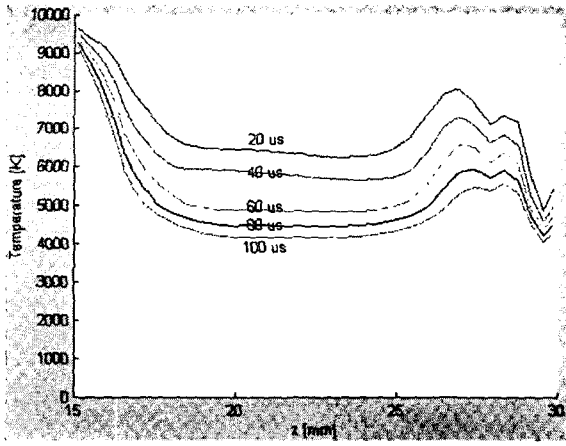


그림 12. 대칭축 상에서 시간에 따른 온도변화(rrrv=3.0 [kV/μs]일 때)

Fig. 12 Temperature variation along the axis(rrrv=3.0 [kV/μs])

5. 결론

본 논문에서는 전력계통에서 발생하는 고장전류로부터 전력기기를 보호하기 위해 사용되는 SF6 가스차단기의 차단 설계 시에 요구되는 열적회복특성 해석 기법에 대하여 기술하고 SF6 가스차단기의 노즐부에 대하여 적용하여 보았다. 특히, 노즐 표면에 도달하는 아크의 방사에너지에 의해 용삭되어 SF6 가스 중으로 혼입되는 PTFE 농도를 계산하고 그 결과를 이용하여 SF6-PTFE 혼합 가스의 물질특성 데이터베이스로부터 실제적인 혼합가스의 물질특성들을 구하여 아크 플라즈마 해석에 반영할 수 있게 되었다.

열적회복특성을 구하기 위하여 우선, 과도상태 하에서 노즐용삭을 고려한 고온·고압 아크 플라즈마를 해석하였다. 해석 결과를 초기조건으로 이용하여 과도회복전압상승률의 변화에 따른 전류영점 이후의 아크 후전류를 계산하였으며, 이것으로부터 임계과도회복전압상승률을 결정함으로써 SF6 가스차단기의 노즐에 대한 열적회복특성을 평가할 수 있게 되었고 그 결과를 제시하였다.

향후, 개발된 열적회복특성 해석 기술을 실규모의 SF6 가스차단부의 설계에 반영함으로써 근거리 선로고장에 의해 발생한 고장전류의 차단 여부를 예측할 수 있게 되어, 현재 시험 및 시행오차에 의존하여 개발해 오던 SF6 가스차단부의 개발에 소요되는 시간과 비용을 크게 절감할 수 있게 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] H.M. Ryan & G.R. Jones, "SF6 Switchgear", Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1989
- [2] K. Ragaller, "Current Interruption in High-Voltage Networks", 1978, Plenum Press, New York, pp.29-65
- [3] Kunio Nakanishi, "Switching Phenomena in High-Voltage Circuit Breakers", Marcel Dekker, Inc., 1991
- [4] C.H. Flurscheim, "Power circuit breaker theory and design", IEE Power Engineering Series 1, Peter Peregrinus Ltd., 1982

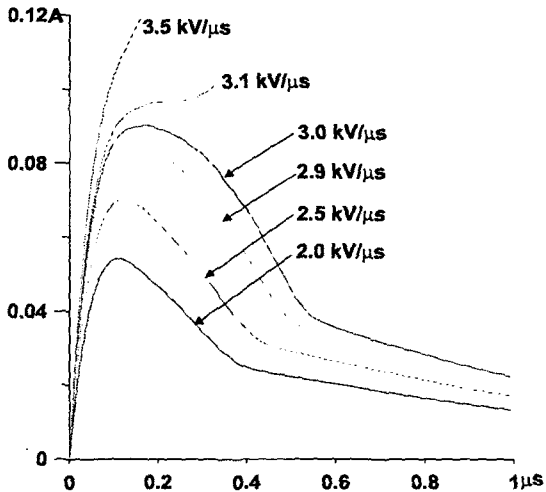


그림 10 과복회복전압상승률 변화에 따른 아크 후전류 계산 결과

Fig. 10 Calculation result of post-arc current according to the change of RRRV

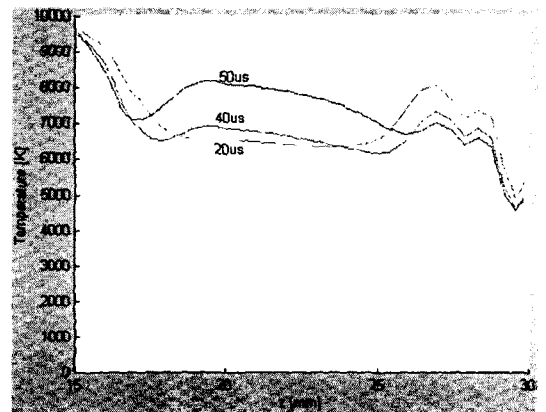


그림 11. 대칭축 상에서 시간에 따른 온도변화(rrrv=3.1 [kV/μs]일 때)

Fig. 11 Temperature variation along the axis(rrrv=3.1 [kV/μs])

- [5] “스遮斷器의 유니트 大容量化への 要求とその 基本技術”, 일본전기학회기술보고, 제497호
- [6] M. Sakaki와 3인, “GIS의 遮斷性能技術”, 明電時報, 通卷232号, 1993, No.5, pp.13-24
- [7] “大容量遮斷器의 特殊遮斷條件”, 일본전기학회기술보고, (II부) 제388호
- [8] 이병윤, 송기동, 박경엽, “초고압 가스차단부의 유부하 압력상승계산”, 대한전기학회 전기기기연구회 합동춘계 학술대회 논문집, 1999, pp.52-54
- [9] 이병윤, 송기동, 박경엽, “초고압 가스차단부의 아크 해석”, 방전/플라즈마 춘계학술대회, 2000, pp.64-67
- [10] 이병윤, 송기동, 박경엽, 신영준, “복합소호방식 가스차단기의 대전류 차단특성 해석”, 대한전기학회 하계학술대회 국제연구기관 특별 Session 논문집, 2000, pp. 37-40
- [11] 이병윤, 송기동, 정진교, 박경엽, “고온·고압 아크 플라즈마 하에서의 정상상태 노즐용삭 해석 기술”, 대한전기학회논문지, 52C-9-5, pp.395-399, 2003.
- [12] J.D. Yan, J.L.Zhang, A.B. Murphy, W.B.Hall, M.T.C. Fang, “Arc Behavior in the Mixture of SF6 and PTFE Vapour in an AUTO-EXPANSION Circuit Breaker”, Proceedings of the XIII International Conference on Gas Discharges and their Applicatios, 2000, pp. 58-61

저 자 소 개



이 병 윤 (李 秉 潤)

1967년 11월 9일생. 1990년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 졸업(석사). 1997년 동대학원 졸업(공학박사). 1996년 2월~현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 선임연구원.
Tel : 055-280-1565, Fax : 055-280-1589
E-mail : bylee@keri.re.kr



정 진 교 (鄭 鎭 敎)

1967년 10월 18일생. 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 강원대 공대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 선임연구원.
Tel : 055-280-1564, Fax : 055-280-1589
E-mail : jkchong@keri.re.kr



송 기 동 (宋 基 東)

1963년 7월 5일생. 1988년 인하대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 2월 부산대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 3월 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 선임연구원.
Tel : 055-280-1563, Fax : 055-280-1589
E-mail : kdsong@keri.re.kr



박 경 엽 (朴 敬 燁)

1957년 1월 3일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 전기공학과 졸업(공학박사). 1978년 12월~1981년 5월 효성중공업(주) 전장설계부. 1981년 6월~현재 한국전기연구소 산업전기연구단 신전력기 기연구그룹 그룹장(책임연구원).
Tel : 0551-280-1561, Fax : 055-280-1589
E-mail : kypark@keri.re.kr